

На правах рукописи

Павлов Иван Павлович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОГРУЗКИ
КАРТОФЕЛЯ И ЛУКА ПУТЕМ ОБОСНОВАНИЯ
ПАРАМЕТРОВ ЛОПАСТНОГО ПИТАТЕЛЯ
ПОГРУЗЧИКА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Саратов 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»

Научный руководитель: **Хакимзянов Рустам Рафитович**
доктор технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Максимов Павел Леонидович**
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «Ижевская государственная
сельскохозяйственная академия»,
заведующий кафедрой «Тракторы,
автомобили и сельскохозяйственные машины»

Соколов Владимир Николаевич,
кандидат технических наук,
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный
технический университет им. Гагарина Ю.А.»,
доцент кафедры «Организация перевозок
и управление на транспорте»

Ведущая организация: **ФГБОУ ВО «Пензенская государственная
сельскохозяйственная академия»**

Защита диссертации состоится «26» декабря 2016 г. в 12.00 на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 220.061.03 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» по адресу: 410056, г. Саратов, ул. Советская д. 60, ауд. 325.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» и на сайте www.sgau.ru

Отзывы направлять ученому секретарю диссертационного совета по адресу: 410012, г. Саратов, Театральная пл., 1. e-mail: chekmarev.v@yandex.ru.

Автореферат разослан « » _____ 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Василий Васильевич Чекмарев

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Производство овощей является одной из важнейших отраслей современного сельского хозяйства. В общем объеме производства значительную долю составляют корнеклубнеплоды – картофель, свекла, лук, морковь. В 2014 году сборы овощей превысили 15 млн. тонн. Среди всего многообразия различных овощных культур большое место занимает выращивание картофеля и репчатого лука. В 2014 году производство картофеля в России составило 2112 тыс. т., а репчатого лука - 1994 тыс. т.

Применяемые при производстве картофеля и репчатого лука технологические схемы предусматривают выполнение различных погрузо-разгрузочных работ. Используемые в настоящее время в хранилищах и полевых условиях погрузчики и транспортеры не обладают достаточной шириной захвата, что приводит к снижению производительности при погрузке больших объемов продукции. Производительность большинства погрузчиков картофеля и лука не превышает 50 т/ч, энергоемкость составляет 150...200 Дж/кг и более. Некоторые из погрузочных машин работают от электропривода, поэтому имеют ограниченную мобильность. Низкая производительность и высокая энергоемкость погрузочных машин, применение ручного труда, существенно повышают себестоимость продукции что, в конечном итоге, снижает рентабельность производства.

Применение погрузчиков непрерывного действия для картофеля и лука сдерживается отсутствием эффективного рабочего органа, имеющего высокую производительность, низкую энергоемкость и одновременно не повреждающего корнеклубнеплоды. Таким образом, актуальность обусловлена отсутствием высокопроизводительных, энергосберегающих питателей к погрузчикам картофеля и лука, применяемых в специальных хранилищах и на открытых площадках и полевых буртах. Разработка и обоснование параметров лопастного питателя к погрузчику непрерывного действия позволит увеличить производительность погрузки, снизить энергоемкость и уменьшить себестоимость готовой продукции.

Работа выполнена в соответствии с приоритетным научным направлением ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ «Модернизация инженерно-технического обеспе-

чения АПК» (регистрационный номер 01201151795) – создание высокопроизводительных грузоподъемных машин и другого навесного оборудования.

Степень разработанности темы. Решением проблем механизации технологических процессов производства картофеля и лука занимались многие ученые: Ерохин М.Н., Завражнов А.А., Кухарев О.Н., Емелин Б.Н., Ларюшин Н.П., Емельянов П.А., Протасов А.А., Верещагин Н.И., Волосевич П.Н., Максимов П.Л., Соколов В.Н., Иванов А.Г. и другие. В результате исследований совершенствовались рабочие органы машин для посадки, выращивания и уборки картофеля и лука. Анализ показал, что недостаточно исследованным является вопрос снижения энергоемкости погрузки картофеля и лука из буртов и хранилищ погрузчиками непрерывного действия, поскольку существующие погрузчики имеют значительную энергоемкость и в ряде случаев невысокую производительность. Не исследованы процессы взаимодействия и погрузки картофеля и лука лопастными питателями погрузчиков, являющимися высокопроизводительными и наименее энергоемкими.

Получены аналитические и экспериментальные зависимости производительности, мощности для привода и энергоемкости лопастного питателя к погрузчику картофеля и лука. Проведено теоретическое и экспериментальное обоснование конструктивно-режимных параметров рабочих органов, позволяющих повысить производительность и снизить энергоемкость погрузки. Исследован в производственных условиях опытный образец погрузчика с лопастным питателем.

Цель исследований: повышение производительности и снижение энергоемкости технологического процесса погрузки картофеля и лука путем обоснования конструктивно-технологических параметров и режимов работы лопастного питателя.

Задачи исследования:

1. Провести анализ существующих погрузчиков и их исследований для определения направлений совершенствования и создания рабочих органов, соответствующих физико-механическим свойствам картофеля и лука;

2. Разработать классификацию лопастных питателей и обосновать конструктивно-технологическую схему, обеспечивающую повышение производительности и снижение энергоемкости погрузки картофеля и лука;

3. Теоретически исследовать процесс взаимодействия рабочих органов лопастного питателя с картофелем и луком и получить аналитические выражения для определения производительности, мощности и энергоемкости, а так же конструктивно-режимных параметров;

4. Получить экспериментальные зависимости и уравнения регрессии для производительности, мощности привода и энергоемкости, а так же травмируемости картофеля и лука от конструктивно-режимных параметров питателя;

5. Провести испытания лопастного питателя в производственных условиях и дать экономическую оценку эффективности его использования.

Объект исследования – процесс взаимодействия лопастного питателя с картофелем и луком при погрузке.

Предмет исследования - закономерности влияния конструктивных и режимных параметров лопастного питателя на производительность погрузки, мощность и энергоемкость.

Научная новизна работы заключается в обосновании конструктивно-технологической схемы погрузчика непрерывного действия с лопастным питателем (патент РФ на изобретение № 2475436 и патент на полезную модель №152216) и исследовании технологического процесса погрузки картофеля и лука; получении дифференциальных уравнений взаимодействия, аналитических и экспериментальных зависимостей производительности, мощности и энергоемкости; исследовании травмирования картофеля и лука в процессе погрузки; теоретическом и экспериментальном обосновании оптимальных режимных и конструктивных параметров.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в теоретическом и экспериментальном обосновании режимных и конструктивных параметров лопастного питателя. Опытный образец предлагаемого погрузчика непрерывного действия применялся в ООО "Овощи Заволжья" Краснокутского района

Саратовской области, при проведении погрузочных работ. Полученные результаты могут быть использованы конструкторскими и проектными организациями при определении основных параметров рабочего органа при проектировании.

Методология и методы исследования. Методологическую основу исследований составили методы системного анализа, математического анализа с применением положений классической и прикладной механики, математической статистики, частные методики лабораторно-полевых исследований и производственных испытаний. Полученные экспериментальные данные обработаны методами математической статистики на ЭВМ.

Положения, выносимые на защиту:

- теоретическое обоснование конструктивно-технологической схемы предлагаемого погрузчика непрерывного действия с напорно-лопастным питателем;
- аналитические выражения и уравнения регрессии, описывающие влияние основных конструктивных и режимных параметров лопастного питателя на производительность и энергоемкость погрузки;
- влияние конструктивных и режимных параметров питателя на травмируемость картофеля и лука;
- результаты теоретических и экспериментальных исследований оптимизации конструктивных и режимных параметров.

Степень достоверности и апробация результатов обеспечена сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований. Основные положения работы заслушивались на конференциях профессорско-преподавательского состава по итогам научно-исследовательской работы за 2012–2015 год Саратовского государственного аграрного университета имени Н.И.Вавилова; на VI Всероссийской научно-практической конференции «Аграрная наука в XXI веке: проблемы и перспективы» (Саратов, 2012), на 8-м Саратовском салоне изобретений, инноваций и инвестиций (Саратов, 2013); на Международной конференции «Новые технологии и технические средства в АПК», посвященной 105-летию со дня рождения профессора Красникова В.В. (Саратов, 2013); на Международном научно-техническом семинаре им. В.В. Михайлова

«Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники» (Саратов, 2015, 2016).

Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка использованной литературы и приложений. Общий объем - 150 страниц машинописного текста, который включает в себя основной текст и приложений. Основной текст изложен на 134 страницах, содержит 6 таблиц и 61 рисунок. Список использованной литературы включает 121 наименование.

По результатам выполненной работы опубликовано 9 работ, в том числе 3 статьи в рецензируемых научных изданиях и 2 патента РФ на изобретение.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы и изложены основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние вопроса. Цель и задачи исследований» на основании анализа существующих исследований, литературных источников и производственного опыта установлено, что технологические схемы производства картофеля и лука предусматривают выполнение нескольких видов погрузочно-разгрузочных работ. Данные операции очень часто недостаточно механизированы и выполняются с низкой производительностью.

К настоящему времени, как в нашей стране, так и за рубежом, создан ряд конструкций погрузчиков картофеля и лука. Анализ существующих конструкций машин, используемых для погрузки картофеля и лука, показывает, что существенными недостатками являются низкая производительность, высокая материалоемкость и энергоемкость. Многие погрузчики имеют привод от электродвигателей, что не позволяет использовать их в полевых условиях.

Важнейшим рабочим органом погрузчика непрерывного действия является питатель, т. к. именно его конструкция определяет характер отделения груза, величину производительности и энергоемкости. Проведенный анализ работ посвященных исследованию питателей позволил установить, что наиболее перспективным является лопастной питатель, обладающий высокой производительностью и малой энергоемкостью. Рабочие органы данного типа обладают уни-

версальностью по возможности погрузки разных грузов. Однако, исследования данных рабочих органов на погрузке корнеклубнеплодов практически отсутствуют. Поэтому проведение исследований лопастных питателей по обоснованию их параметров для погрузки картофеля, лука является актуальным.

Исследованием рабочих органов различных машин для технологических процессов производства картофеля и лука занимались многие ученые: Ерохин М.Н., Завражнов А.А., Кухарев О.Н., Емелин Б.Н., Ларюшин Н.П., Максимов П.Л., Емельянов П.А., Протасов А.А., Верещагин Н.И., Волосевич П.Н., Соколов В.Н., Иванов А.Г. и другие. В результате исследований совершенствовались рабочие органы машин для посадки, выращивания и уборки картофеля и лука.

Недостаточно исследованным является вопрос снижения энергоемкости погрузки картофеля и лука из буртов и хранилищ погрузчиками непрерывного действия. Анализ существующих исследований погрузчиков непрерывного действия позволяет сделать вывод об их недостаточности для обоснования параметров для погрузки корнеклубнеплодов. Исследования по питателям лопастного типа, имеющим высокую производительность и низкую энергоемкость, для погрузки картофеля и лука практически отсутствуют.

Во второй главе «Теоретическое исследование работы лопастного питателя» на основании анализа научных и теоретических исследований разработана новая конструктивно-технологическая схема лопастного питателя (патенты РФ № 2475436; 152216), позволяющего увеличить производительность и снизить энергоемкость погрузки. Питатель (рис. 1, а) состоит из наклонной плиты 1 с выгрузным окном 2, двух встречно вращающихся роторов 3 в виде подвижного диска 4 с лопастями 5 и механизмом привода 6. На наклонной плите с каждой стороны выгрузного окна установлены два сектора 7 в виде части цилиндра, соосно с ротором. На плите закреплена навесная коробка 8 с передним брусом 9, на которой имеются посадочные места 10 под механизм привода 6 роторов 3, а на переднем брусе - посадочные места 11 под подшипниковые узлы 12.

Режимными параметрами лопастного питателя являются: частота вращения n , мин^{-1} , угловая скорость роторов ω , рад/с , поступательная скорость v , м/с .

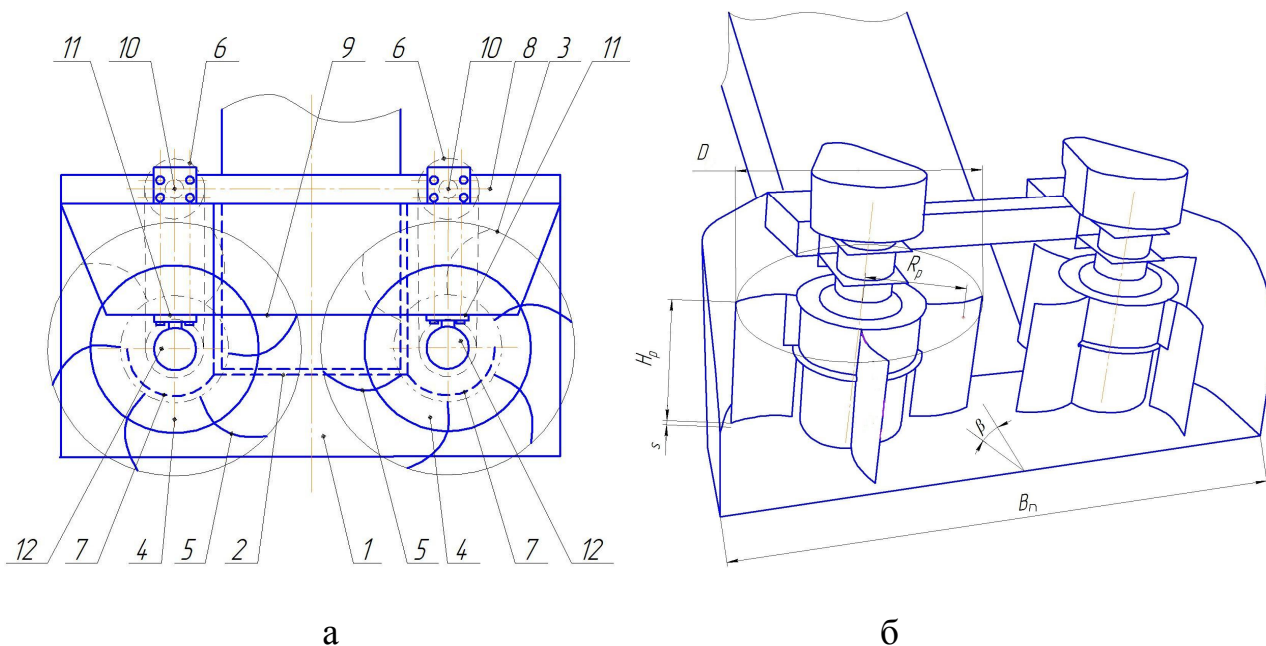


Рисунок 1 – Предлагаемый лопастной питатель к погрузчику: а – конструктивно-технологическая схема, б – параметры.

Конструктивные параметры (рис.1, б): диаметр лопастей роторов D (м), ширина захвата B_n , высота роторов H_p , количество лопастей z_1 , радиус вращения точки лопасти R_p , зазор между плитой и нижним краем лопасти s , угол наклона питателя к горизонту β . Так же конструктивные параметры лопасти: толщина наружной кромки лопасти δ , длина лопасти l_p , радиус лопасти R_l .

Траектория движения клубня или луковицы при взаимодействии с лопастью лопастного питателя состоит из нескольких участков. Первый участок - после захвата клубень или луковица скользит по поверхности лопасти и одновременно поворачивается вместе с ней, так же происходит скольжение по поверхности наклонной плиты. Второй участок - клубень скользит по поверхности неподвижного сектора и по поверхности наклонной плиты, а так же поворачивается вместе с лопастью. Третий участок - клубень, оказавшись над выгрузным окном, под действием силы тяжести падает на отгрузочный транспортер.

Лопать ротора, вращающаяся с постоянной угловой скоростью ω , захватывает клубни и отделяет их от основного массива. В это время на клубень действуют силы (рис. 2, а): - F_{cd} – сила, необходимая для начального сдвига захватываемых клубней; - N_{nl} – реакция со стороны наклонной плиты; - сила тяжести G ; - реакция на передней кромке лопасти N_{pk} . Проекция каждой из этих сил на

оси координат определяются соответствующими углами: ψ - угол между осью OY и направлением $F_{c\delta}$, β' - угол между осью OZ и направлением силы тяжести G , φ' - угол между осью OX и направлением силы тяжести G , θ – угол между реакцией на передней кромке лопасти и осью OX . После преобразований дифференциальные уравнения движения клубня имеют вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} m \frac{d^2 x}{dt^2} = mg \cos \varphi' - gm f_{\text{вн}} \sin \psi + N_{\text{рк}} \cos \theta = gm(\cos \varphi' - f_{\text{вн}} \sin \psi) + N_{\text{рк}} \cos \theta \\ m \frac{d^2 y}{dt^2} = gm f_{\text{вн}} \cos \psi - mg \sin \varphi' + N_{\text{рк}} \sin \theta = gm(f_{\text{вн}} \cos \psi - \sin \varphi') + N_{\text{рк}} \sin \theta \\ m \frac{d^2 z}{dt^2} = N_{\text{пл}} - mg \cos \beta' \end{array} \right. \quad (1)$$

Захваченный клубень перемещается по поверхности наклонной плиты к выгрузному окну и одновременно по поверхности лопасти к центру ротора. В этот момент на него действуют силы: $F_{\text{тр.пл.}}$ – сила трения клубня о поверхность плиты; $F_{\text{тр.лон.}}$ – сила трения о поверхность лопасти; $N_{\text{лон.}}$ – реакция со стороны лопасти; $N_{\text{пл.}}$ – реакция со стороны плиты; $F_{\text{цб}}$ – центробежная сила инерции; сила тяжести G (рис. 2,б).

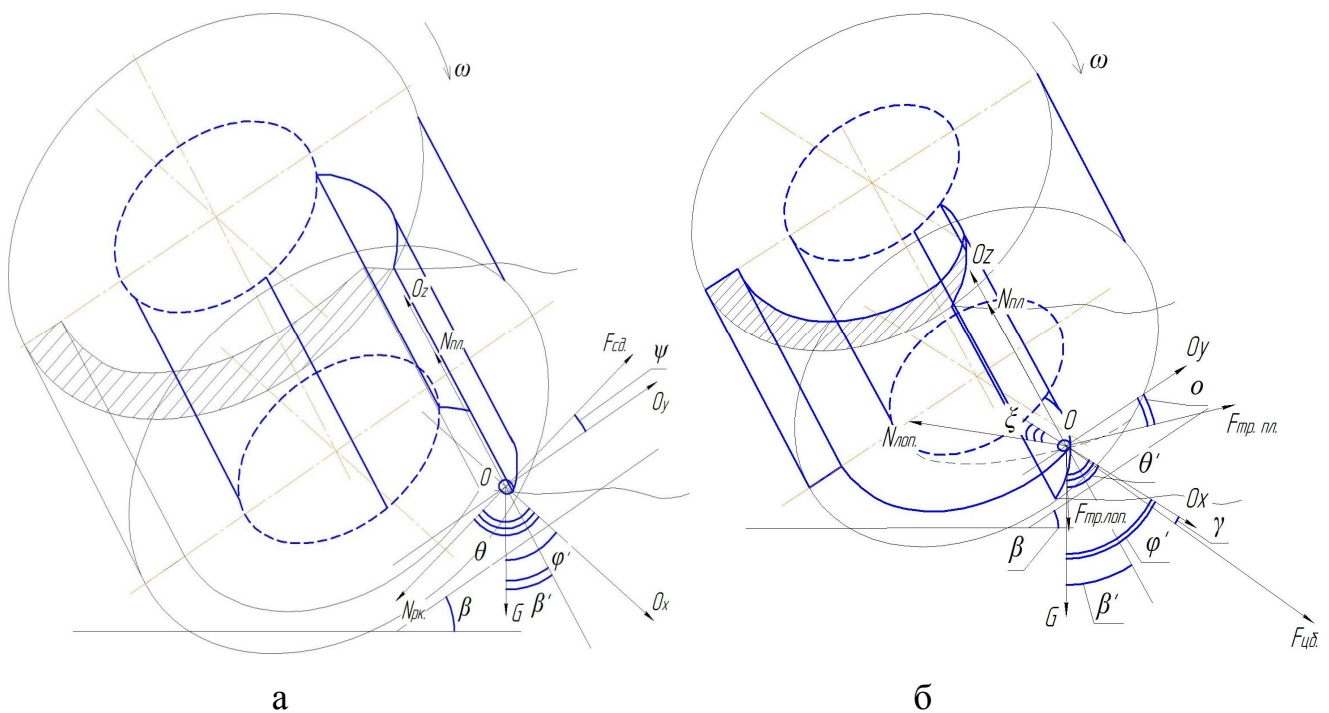


Рисунок 2 - Схема сил действующих на клубень (луковицу) а - при отделении, б – на первом участке траектории.

Поскольку клубень не связан с основным буртом, то влияние переносного движения отсутствует и силами инерции связанными с ним можно пренебречь.

Величину проекций сил на оси координат определяют следующие углы: γ – угол между направлением центробежной силы и осью Ox ; θ' – угол между направлением силы трения клубня о лопасть и Ox ; ξ – угол между направлением реакции лопасти и Ox ; σ – угол между направлением силы трения клубня о наклонную плиту и Ox .

Раскрывая значения входящих сил, получим:

$$\left\{ \begin{array}{l} m \frac{d^2 x}{dt^2} = m \omega^2 R_p \cos \gamma + mg f_{\text{тр}} \sin \sigma + N_{\text{лоп}} f_{\text{тр}} \cos \theta' + mg \cos \varphi' - N_{\text{лоп}} \cos \xi \\ m \frac{d^2 y}{dt^2} = mg f_{\text{тр}} \cos \sigma - N_{\text{лоп}} f_{\text{тр}} \sin \theta' + mg \sin \varphi' - N_{\text{лоп}} \sin \xi - m \omega^2 R_p \sin \gamma \\ m \frac{d^2 z}{dt^2} = N_{\text{нл}} - mg \cos \beta' \end{array} \right. \quad (2)$$

Аналогично построены дифференциальные уравнения движения клубней на втором и третьем участках траектории.

Суммарное окружное усилие F_t для вращения лопасти определяется суммой реакций лопасти на вышеуказанных участках траектории движения клубня.

$$F_t = N_{\text{рк}} + N_{\text{лоп}} + N_{\text{лон2}} \quad , \quad (3)$$

где $N_{\text{лон2}}$ – усилие на лопасти втором участке траектории.

При решении дифференциальных уравнений получены составляющие:

$$N_{\text{рк}} = \frac{F_{\text{и}} + mg (f_{\text{вн}} \sin \psi - \cos \varphi')}{\cos \theta} \quad (4)$$

$$N_{\text{лоп}} = \frac{m \omega^2 R_p \cos \gamma + mg (f_{\text{тр}} \sin \sigma + \cos \varphi')}{-f_{\text{мп}} \cos \theta' + \cos \xi} \quad (5)$$

$$N_{\text{лон2}} = \frac{m \omega^2 R_p \sin \gamma - mg (f_{\text{тр}} \cos \sigma + \cos \varphi') - N_{\text{сек}} (f_{\text{мп}} \cos \lambda' + \sin \lambda)}{f_{\text{мп}} \cos \theta - \cos \xi} \quad . \quad (6)$$

Крутящий момент на валу ротора определяется по выражению:

$$T_p = N_{\text{рк}} R_{\text{рк}} + N_{\text{лоп}} R_{\text{лоп}} + N_{\text{лон2}} R_{\text{нс}} \quad , \quad (7)$$

где $R_{\text{рк}}$, $R_{\text{лоп}}$, $R_{\text{нс}}$ – радиус до передней кромки, средний радиус лопасти и радиус неподвижного сектора.

Мощность необходимая для привода роторов, после преобразований:

$$P = \frac{z_1 Q \pi}{30z} \left\{ R_{pk} \frac{vn_1 + g(f_{\text{вн}} \sin \psi - \cos \varphi')}{\cos \theta} + R_{\text{лон}} \frac{\omega^2 R_p \cos \gamma + g(f \sin \sigma + \cos \varphi')}{-f \cos \theta' + \cos \xi} \right. \\ \left. + R_{\text{нс}} \frac{\omega^2 R_p \sin \gamma - g(f_{mp} \cos \sigma + \cos \varphi') - \frac{g}{k_{\text{нс}}} (f_{mp} \cos \lambda' + \sin \lambda)}{f_{mp} \cos \theta - \cos \xi} \right\}, \quad (8)$$

где $k_{\text{нс}}$ – коэффициент, учитывающий часть массы клубней воздействующей на неподвижный сектор.

Полученное выражение показывает, что мощность зависит от производительности, диаметра и частоты вращения лопастей, коэффициентов трения клубней по металлу, углов взаимодействия поверхностей с клубнями.

Производительность Q (кг/с) питателя – масса, погружаемая в единицу времени. Производительность подачи:

$$Q_n = \rho A v, \quad (9)$$

где ρ – плотность, кг/м³; A – площадь сечения бурта, м²

Производительность роторов в общем случае:

$$Q_p = z_1 V_l \rho / t, \quad (10)$$

где z_1 – количество лопастей одновременно перемещающих груз; V_l – рабочий объем одной лопасти, м³; t – время работы лопасти, с.

Рабочий объем лопасти V_l определим исходя из анализа процесса работы.

$$Q_p = z_1 K_l H_l \frac{R_l^2}{2} (\beta_l - \sin \beta_l) \rho n, \quad (11)$$

K_l - коэффициент заполнения пространства между лопастями.

Анализ выражения (11) показывает, что производительность находится в квадратичной зависимости от радиуса лопастей и прямо пропорционально зависит от высоты бурта и частоты вращения лопастей. Однако, наличие коэффициента K_l заполнения межлопастного пространства зависимость более сложная.

Преобразуем выражение (11) с учетом (9).

$$v \leq \frac{z_0 K_l H_l R_l^2 (\beta_l - \sin \beta_l) n}{2BH}. \quad (12)$$

Из выражения (12) можно обосновать угловую скорость лопастей.

$$\omega \geq \frac{30z_0 K_{\text{л}} H_{\text{л}} R^2 (\beta_{\text{л}} - \sin \beta_{\text{л}}) v}{2\pi B H} \quad (13)$$

Полученные выражения позволяют определить производительность лопастного питателя и обосновывать параметры исходя из производительности.

$$\text{Энергоемкость } E \text{ (Дж/кг) лопастного питателя: } E = P/Q_p \quad (14)$$

В третьей главе «Методика экспериментальных исследований» дан анализ параметров напорно-лопастного питателя и критериев оптимизации, изложены программа и методика исследований, дано описание опытного образца погрузчика с лопастным питателем (рис. 3).

Программа исследований включала в себя пробные эксперименты, серию двух- и однофакторных экспериментов. Однофакторными экспериментами исследовалось влияние конструктивно-режимных параметров лопастного питателя на производительность погрузки и травмирование клубней картофеля и репчатого лука. Двухфакторными экспериментами исследовали влияние на производительность, крутящий момент, мощность привода и энергоемкость погрузки угловой скорости лопастей, поступательной скорости и радиуса лопастей.

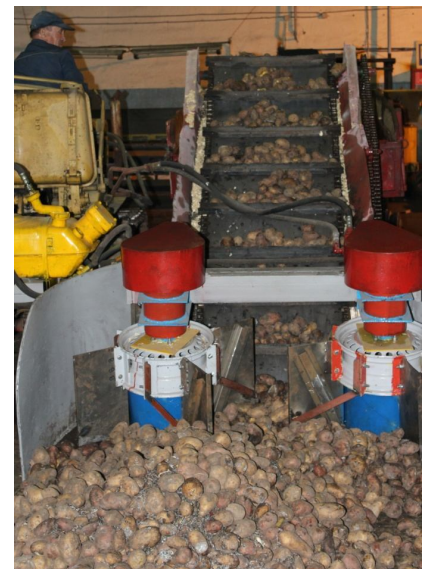


Рисунок 3 – опытный образец погрузчика с напорно-лопастным питателем.

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований лопастного питателя» представлены результаты определения физико-механических свойств картофеля и лука, с которыми исследовали погрузчик-смеситель. Приведены результаты экспериментальных исследований.

Производительность является основным показателем эффективности погрузчика. Проведенные экспериментальные исследования на погрузке клубней картофеля позволили получить уравнения регрессии и соответствующие им графические зависимости. На рис. 4 представлена зависимость производительности от поступательной скорости погрузчика и угловой скорости лопастей.

Уравнение регрессии, описывающее данную зависимость, имеет вид:

$$Q = -22,379 + 450,614v + 15,845\omega - 10150 v^2 + 148,282 v\omega - 2,582 \omega^2 . \quad (15)$$

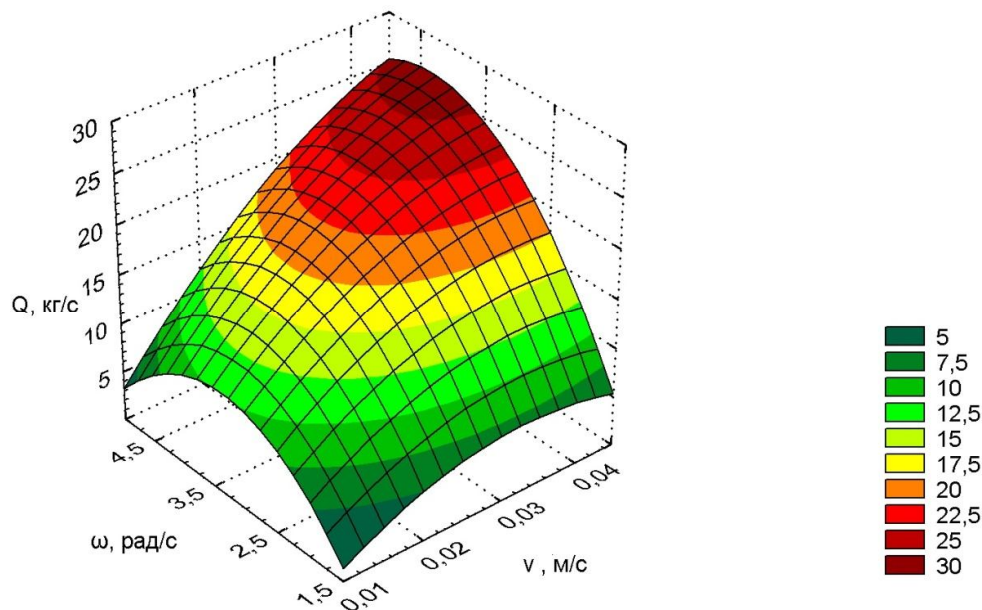


Рисунок 4 - Зависимость производительности питателя от угловой скорости вращения лопастей и поступательной скорости при работе с картофелем

Анализ данной зависимости показывает, что производительность погрузчика возрастает с увеличением поступательной скорости движения и угловой скорости вращения лопастей. Однако, зависимость носит нелинейный характер и достигает максимума при $\omega = 4,78$ рад/с и $v = 0,041$ м/с, затем снижается.

Одной из важнейших характеристик, определяющих эффективность работы погрузочной техники, является энергоёмкость. Показатель энергоёмкости определяет затраты энергии, необходимые для погрузки единицы массы груза.

В результате обработки данных экспериментальных исследований получена зависимость, характеризующая влияние угловой скорости вращения роторов и поступательной скорости движения погрузчика на энергоёмкость погрузки (рис. 5). Данная зависимость описывается уравнением регрессии 16:

$$E = 440,446 - 11816,06 v - 123,732\omega + 202800 v^2 + 253,1 v\omega + 19,275\omega^2 . \quad (16)$$

Анализ зависимости показывает, что режимами погрузки картофеля лопастным питателем, при которых энергоемкость минимальна, являются $v = 0,02 - 0,03$ м/с и $\omega = 2,5 - 3,5$ рад/с. При выходе одного из параметров из указанного диапазона энергоемкость погрузки возрастает. Так при $v = 0,025$ м/с и $\omega = 3$ рад/с энергоемкость $E = 95...98$ Дж/кг, при $v = 0,041$ м/с и $\omega = 3,4$ рад/с соответственно $125...130$ Дж/кг, а при $v = 0,021$ м/с и $\omega = 1,73$ рад/с $E = 152...160$ Дж/кг.

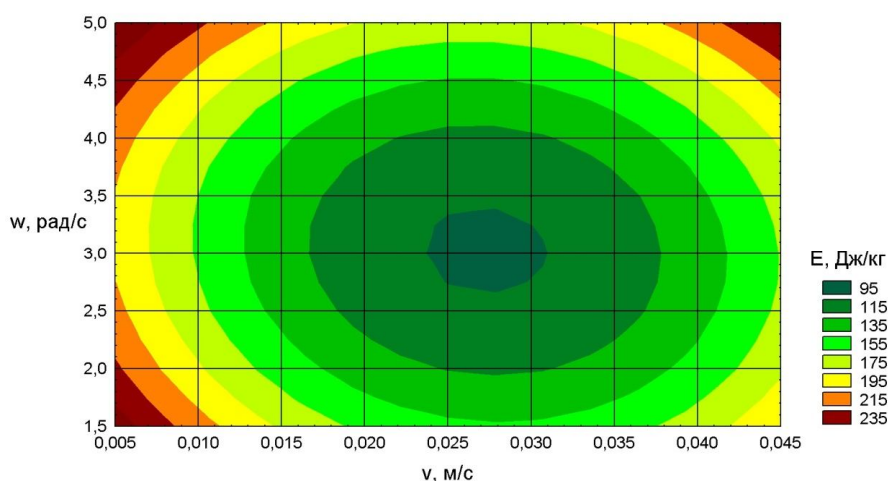


Рисунок 5 – Влияние угловой скорости лопастей и поступательной скорости энергоемкость погрузки клубней картофеля

Экспериментально установлено влияние поступательной скорости лопастного питателя и угловой скорости лопастей на производительность и энергоемкость при погрузке репчатого лука.

По результатам выполненных исследований получено уравнение регрессии (17) и графическая зависимость, представленная на рисунке 6.

$$Q = -19,417 + 590,951v + 12,729\omega - 12841,24v^2 + 103,701 v\omega - 2,03\omega^2 . \quad (17)$$

Максимальная производительность 18,5 кг/сек при погрузке репчатого лука достигается при $v = 0,031$ м/с и $\omega = 3,4$ рад/с.

Изменение параметров от указанных значений уменьшает производительность.

Зависимость энергоемкости погрузки лука представлена на рис. 7.

Уравнение регрессии имеет вид выражения (18).

$$E = 348,892 - 6772,79 v - 88,972\omega + 114900 v^2 + 141,76 v\omega + 12,983\omega^2 . \quad (18)$$

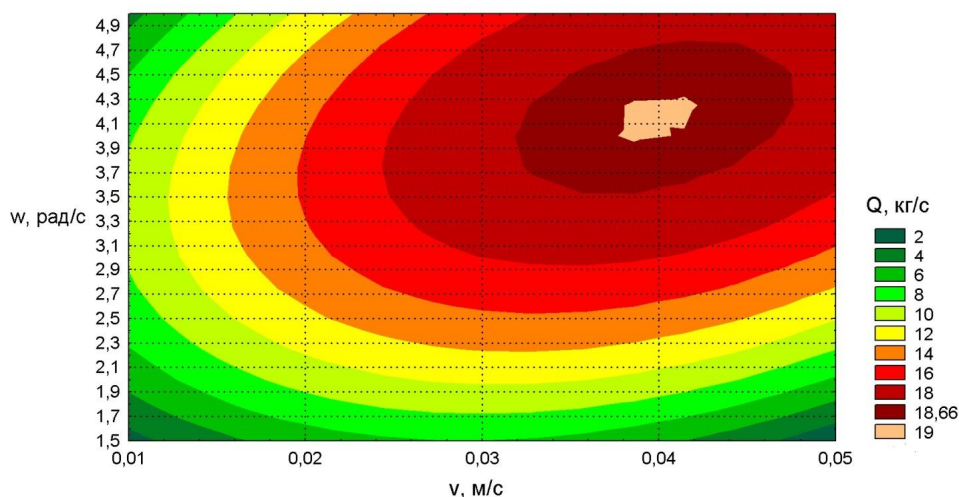


Рисунок 6 - Графическая зависимость производительности погрузчика от поступательной скорости и угловой скорости лопастей при работе с луком

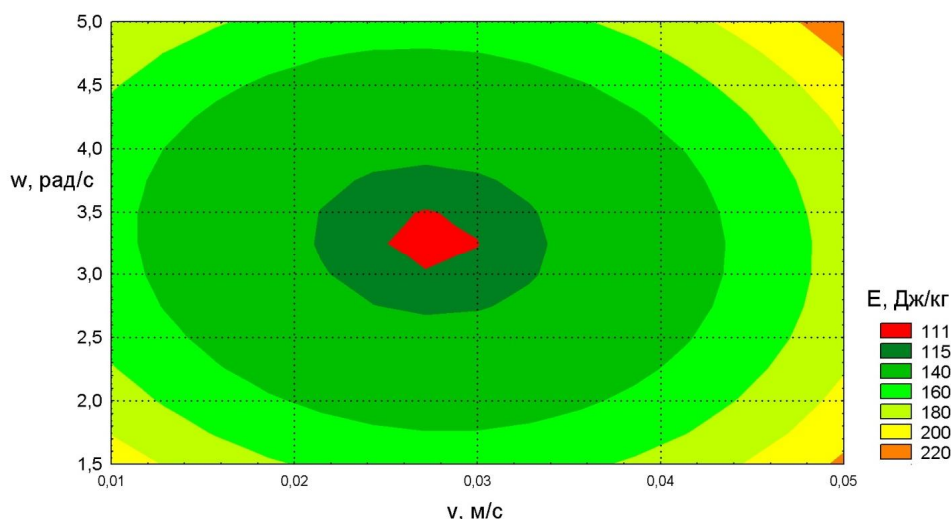


Рисунок 7 - Зависимость энергоёмкости процесса погрузки лука от поступательной скорости погрузчика и угловой скорости лопастей

Наименьшая энергоёмкость - 108,4 Дж/кг соответствует 3,4 рад/с и 0,031 м/с. Изменение параметров за указанные границы увеличивает энергоёмкость. Так, при $v = 0,031$ м/с и $\omega = 4,78$ рад/с, $E = 127,4$ Дж/кг, что на 17,5 % больше минимального значения. При $\omega = 3,4$ рад/с и $v = 0,011$ м/с, $E = 151,3$ Дж/кг. Проведенными исследованиями установлено значение радиуса лопастей $R = 0,6 \dots 0,8$ м, при котором энергоёмкость имеет минимальное значение.

Проверена сходимость результатов эксперимента с теоретическими расчетами. На рисунке 8 изображены зависимости производительности и энергоёмкости от радиуса и угловой скорости лопастей при погрузке картофеля.

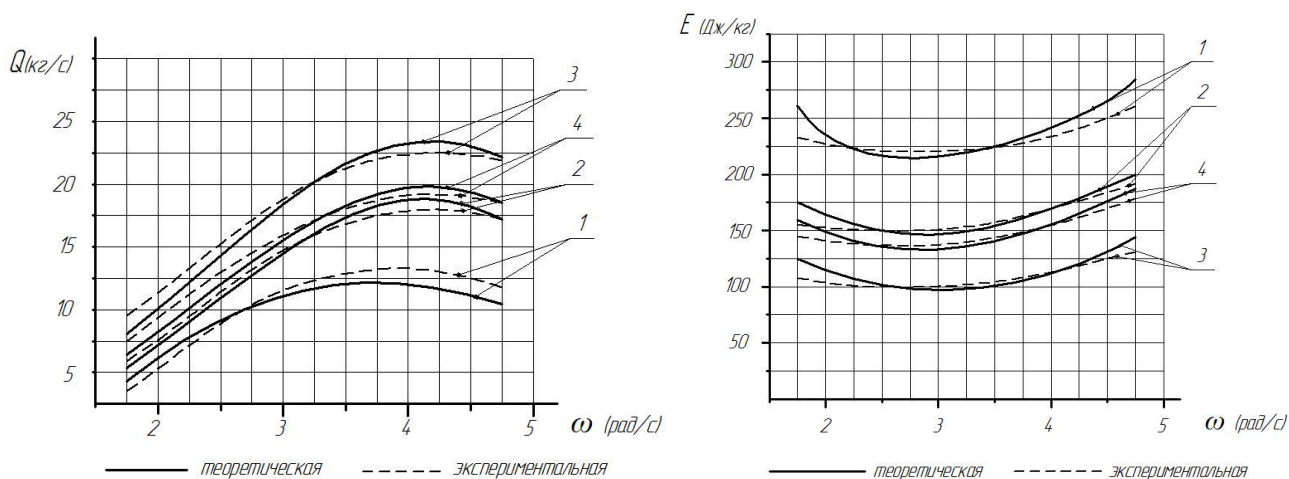


Рисунок 8 – Зависимости, теоретическая и экспериментальная, производительности Q и энергоёмкости E лопастного питателя от угловой скорости при радиусе лопастей: 1 - $R = 0,2$ м; 2 – $R = 0,31$ м; 3 - $R = 0,41$ м; 4 - $R = 1,0$ м.

Программой экспериментальных исследований предусматривалось проведение однофакторных экспериментов по исследованию влияния конструктивно-режимных параметров травмирование клубней картофеля и репчатого лука. Анализ полученных зависимостей показывает, допустимый уровень травмирования в 5 % обеспечивается для картофеля при зазоре между плитой и нижним краем лопасти не более 10...12 мм, для лука – не более 15...17 мм. Травмирование возрастает с увеличением угловой скорости лопастей. При угловой скорости свыше 3,74 рад/с травмирование клубней картофеля превышает 5%. Для лука травмирование превышает требования при $\omega > 4,9$ рад/с. С целью снижения повреждений поверхность лопастей покрывалась мягкой резиной.

В пятой главе «Технико-экономическая эффективность» определена экономическая эффективность от внедрения погрузчика с лопастным питателем в сравнении с транспортером-загрузчиком картофеля ТЗК-30. Годовой экономический эффект составил 154144 руб. в ценах на 25.08.2016 г.

Заключение

1. На основании патентного поиска и анализа существующих конструктивно-технологических схем погрузчиков непрерывного действия для погрузки клубнеплодов и лука разработана конструктивно-технологическая схема лопастного питателя, теоретическими и экспериментальными исследованиями обоснованы режимные и конструктивные параметры его рабочих органов.

2. Разработана классификация лопастных питателей к погрузчикам непрерывного действия. Основным направлением совершенствования является обоснование параметров для работы с картофелем и луком. В соответствии с этим разработана новая конструктивно-технологическая схема лопастного питателя (патент на изобретение № 2475436, патент на полезную модель № 152216) для погрузки картофеля и лука, оснащенного двумя встречно вращающимися роторами с лопастями и неподвижными секторами в виде частей цилиндра. Предложенная конструкция обеспечивает увеличение производительности и снижение энергоемкости за счет оптимальной траектории движения клубней при погрузке и большего напорного воздействия на груз.

3. В результате проведенных теоретических исследований получены дифференциальные уравнения движения клубней в процессе погрузки, получены аналитические выражения, описывающие зависимость мощности привода, производительности и энергоемкости от конструктивно-режимных параметров работы питателя. Производительность имеет квадратичную зависимость от радиуса лопастей и частоты вращения рабочего органа. Мощность, необходимая для привода, описывается зависимостью третьего порядка от радиуса вращения лопастей, их угловой и поступательной скорости.

4. Получены экспериментальные зависимости и уравнения регрессии мощности привода, производительности и энергоемкости от режимных и конструктивных параметров питателя. Максимальная производительность напорно-лопастного питателя равная 26,5 кг/с при погрузке картофеля достигается при поступательной скорости $v = 0,05$ м/с и угловой скорости $\omega = 4,75$ рад/с. Травмирование клубней накладывает ограничение на величину угловой скорости лопастей. Установлены значения угловой скорости $\omega = 3,74$ рад/с и поступательной скорости $v = 0,041$ м/с, при которых травмирование не превышает требований ГОСТа и производительность достигает наибольшего значения $Q = 22,8$ кг/с. Оптимизацией по энергоемкости получен режим работы лопастного питателя при погрузке картофеля с угловой скоростью лопастей $\omega = 2,9...3,2$ рад/с, поступательной скоростью $v = 0,025$ м/с и значениях радиуса лопастей $R =$

0,6...0,8 м. Для диаметра роторов 0,8 м производительность составляет 20,4 кг/с, энергоемкость – 95...98 Дж/кг.

5. Максимальная производительность лопастного питателя при погрузке лука достигается при поступательной скорости $v = 0,038...0,042$ м/с и угловой скорости лопастей $\omega = 4,0...4,3$ рад/с. Оптимальные по энергоемкости параметры составляют $\omega = 3,1...3,4$ рад/с и $v = 0,027...0,031$ м/с, наименьшие значения энергоемкости - 108,4 Дж/кг. Допустимый уровень травмирования в 5 % обеспечивается для клубней картофеля при зазоре между плитой и нижним краем лопасти не более 10...12 мм, для лука – не более 15...17 мм.

6. Годовой экономический эффект при использовании погрузчика непрерывного действия с напорно-лопастным питателем составляет 154144 рублей, срок окупаемости дополнительных капиталовложений - 1,35 года.

Рекомендации производству

1. При использовании погрузчика с напорно-лопастным питателем необходимо определить диаметр, поступательную и угловую скорость в соответствии с требуемой производительностью. Угловая скорость лопастей должна составлять 2,9...3,2 рад/с для картофеля и 3,1...3,4 рад/с для лука. По полученным зависимостям определяется необходимая мощность для привода.

2. При использовании предлагаемого погрузчика для погрузки картофеля и лука, закладываемых на хранение, следует поверхность лопастей покрыть мягкой резиной с внутренним армированием резинотканевым слоем.

Перспективы дальнейшей разработки темы

1. Исследовать процесс погрузки и обосновать параметры наклонной плиты и расположения роторов с целью дальнейшего повышения производительности и снижения энергоемкости и травмирования.

2. Для расширения области применения погрузчика с напорно-лопастным питателем исследовать процессы погрузки других видов корнеклубнеплодов.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ

1. Павлов, И.П. Теоретическое исследование работы лопастного питателя погрузчика непрерывного действия / Р.Р. Хакимзянов, И.П. Павлов, И.К. Кричигин, С.Е. Постников. // Научное обозрение. - 2014. - № 11. - С. 41...44.

2. Павлов, И.П. Результаты экспериментальных исследований погрузчика непрерывного действия с роторным лопастным питателем / Р.Р. Хакимзянов, И.П. Павлов // Научное обозрение. - 2015. - № 15. - С. 34...37.

3. Павлов, И.П. Теоретическое исследование процесса разгрузки лопастного питателя погрузчика непрерывного действия / И.П. Павлов, Т.В. Овчинникова // Научное обозрение. – 2015. – № 10-1. – С. 36–39.

Публикации в других изданиях

4. Павлов, И.П. Универсальный погрузчик непрерывного действия / И.П.Павлов, Р.Р. Хакимзянов // Математические методы в технике и технологиях – 2014. – № 13. – с. 143–145.

5. Патент №2475436, РФ, В 65 G 65/20 Лопастной питатель / Хакимзянов Р. Р., Павлов И.П. №2011115443/11; заявл. 19.04.2011 – Оpubл. 20.02.13. Бюл. №5.

6. Патент №152216, Российская Федерация, МПК В65G 65/20. Лопастной питатель / Хакимзянов Р.Р., Павлов И.П., Кричигин И.К., Постников С.Е. №2014137948/11; заявл. 19.09.2014; опубл. 10.05.2015, бюл. № 13. – 2 с.: ил.

7. Павлов, И.П. Погрузчик непрерывного действия с роторно-лопастным питателем / Р.Р. Хакимзянов, И.П. Павлов // Аграрная наука в XXI веке: проблемы и перспективы: сб. статей VI Всеросс. науч.-практ. конф. – Саратов: КУБиК, 2012. – с. 129–133.

8. Павлов, И.П. Методика эксперимента по определению критерия оптимизации лопастного питателя / Р.Р. Хакимзянов, И.П. Павлов, // Новые технологии и технические средства в АПК: Материалы Международной конф., посвященной 105-летию со дня рождения профессора Красникова В.В. – Саратов: «Буква», 2013. – с. 205...207.

9. Павлов, И.П. Теоретическое исследование процесса разгрузки лопастного питателя погрузчика непрерывного действия / Р.Р. Хакимзянов, А.О. Везиров, И.П. Павлов // Научная мысль. – 2015. – № 3. – С. 87–91.